



Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA

BIOLOGIA E BIOCHIMICA DELL'UOMO E DELL'AMBIENTE

Ciclo XXVII

TITOLO TESI

CARATTERIZZAZIONE CARDIO METABOLICA DI ATLETI IN ETÀ
EVOLUTIVA E CONFRONTO TRA ÈLITE E NON ÈLITE

BIO/09 – M-EDF/02

Presentata da: Dott. Girolamo Palazzolo

Coordinatore Dottorato Prof. Emanuele Sanna

Tutor Dott. Antonio Crisafulli

Relatore Dott. Antonio Crisafulli

Esame finale anno accademico 2013 – 2014

Introduzione	pag.2
<i>Massima Potenza Anaerobica e Massima Capacità Lattacida Nel Corso Dell'età Evolutiva</i>	pag.8
<i>La Massima Potenza Anaerobica Sviluppata In Esercizi Sovramassimali Protratti E La Massima Capacità Lattacida</i>	pag.10
<i>La Massima Potenza Aerobica</i>	pag.11
<i>La Soglia Anaerobica</i>	pag.12
<i>Limiti Fisiologici All'attività Fisica Del Bambino</i>	pag.12
Materiali e Metodi	pag.13
<i>Protocollo</i>	pag.14
<i>Strumenti</i>	pag.15
<i>Variabili Raccolte</i>	pag.15
<i>Analisi Statistica</i>	pag.16
Risultati	pag.16
Discussione	pag.16
Tabelle e grafici	pag.20
Bibliografia	pag.38

INTRODUZIONE

Dal punto di vista strutturale, nell'uomo, il numero di fibre muscolari definitivo, viene raggiunto durante lo sviluppo prenatale. La crescita di massa muscolare è caratterizzata da un aumento del rapporto proteine contrattili/DNA. Questo rapporto è più elevato nei maschi in quanto positivamente influenzato dall'aumentata secrezione di testosterone dopo la maturazione sessuale. La frazione del volume della fibra muscolare costituita dai mitocondri, tende ad aumentare dall'età di un mese, fino ai 6-13 anni.

Nel caso dell'accrescimento, le modalità di aumento della forza massima, variano a seconda dei gruppi muscolari interessati. Questo rilievo è stato spiegato sulla base dell'ipotesi che anche lo sviluppo della coordinazione neuromuscolare possa variare tra i muscoli diversi, in relazione al tasso di attività spontanea.

Già dai 6 anni infatti il sistema nervoso centrale è capace di attivare totalmente il muscolo flessore dorsale del piede, ma non il flessore plantare.

Nei giovani pre-adolescenti invece un allenamento di resistenza conduce ad un aumento di forza senza una concomitante ipertrofia muscolare.

Sembrerebbe che, nella pubertà, i ragazzi non siano in grado di sviluppare una forza proporzionale all'aumento della sezione trasversa della muscolatura. La causa di questa relativa incapacità potrebbe essere ricercata nel fatto che, i ragazzi in età preadolescente non hanno del tutto sviluppato la capacità di attivare completamente le unità motorie nel corso della massima contrazione volontaria.

Entrando più nello specifico, l'organismo può essere considerato come una macchina capace di sviluppare energia meccanica a spese di

reazioni chimiche esotermiche che hanno luogo principalmente nei muscoli.

Come noto, il lavoro (W) è definito come il prodotto della forza (F) per la distanza (s) lungo la quale la forza agisce:

$$W = F \cdot s$$

L'effettuazione di lavoro implica necessariamente impiego di energia. Il rendimento meccanico (R) definito come il rapporto fra lavoro meccanico sviluppato e consumo energetico (C)

$$R = W/C$$

Raggiunge in condizioni ottimali il valore di 0,25 nell'uomo, nel lavoro positivo. Vi sono tuttavia condizioni in cui si ha dispendio di energia senza che si compia lavoro, ad esempio nella contrazione muscolare isometrica, quale si ha quando si sostiene un oggetto pesante o quando si cerca di sollevare un peso superiore alla forza che si è in grado di sviluppare. In tale caso, il rendimento meccanico risulta nullo ($R = 0$).

Il parametro fisiologico più pratico risulta essere il “dispendio energetico” che può essere desunto, in condizioni aerobiche, dal consumo di ossigeno (VO_2), e, in condizioni anaerobiche, dalla scissione dei fosfati altamente energetici e dalla produzione di acido lattico

Il lavoro che una macchina è in grado di compiere nell'unità di tempo è definito potenza (W):

$$W = W/t$$

Come in precedenza ricordato, W può essere espresso sia come lavoro meccanico, sia sotto forma di energia consumata per compiere il lavoro medesimo. W, espressa in consumo, risulterà nel caso di un lavoro a rendimento = 0,25 evidentemente 4 volte più elevata di quando sia espressa sotto forma di lavoro meccanico.

La potenza è generalmente misurata in calorie per minuto (10,694 kcal/min = 1HP = 736 watt). In lavori effettuati a spese di soli processi ossidativi, la potenza sviluppata viene spesso espressa in litri di ossigeno consumati per minuto; dall'equivalente calorico dell'ossigeno (1 litro di O₂ = 5kcal) è possibile convertire il dato di VO₂ nelle altre unità di potenza indicate (1L O₂/min = 5 kcal/min == 350 watt = 0,475 HP). Le sorgenti energetiche di natura non ossidativa (glicolisi anaerobica) possono essere determinate quantitativamente quando sia noto l'equivalente calorico dell'acido lattico prodotto (1 g di acido lattico = 222 cal).

Dalla velocità di produzione dell'acido lattico in g/min è altresì possibile definire la potenza sviluppata in base alla sola glicolisi anaerobica.

Le sorgenti energetiche per il lavoro possono essere distinte in:

- a. Sorgenti aerobiche
- b. Sorgenti anaerobiche.

Le sorgenti aerobiche dell'organismo sono praticamente illimitate in quanto il substrato ossidabile (principalmente grassi e zuccheri) si trova nel corpo in elevata quantità: le riserve energetiche possono essere valutate fra 40.000 e 300.000 kcal o più nell'adulto, e in quantità corrispondente minore nel ragazzo, in proporzione al minor peso corporeo.

Il massimo valore di VO_2 dipende dalla funzione respiratoria, da quella cardiocircolatoria (la massima portata cardiaca) e da quella muscolare. (Marconi et al 2003) La massima potenza che può essere sviluppata sulla base di meccanismi ossidativi può essere quindi desunta dal massimo consumo di ossigeno. L'energia anaerobica è limitata rispetto a quella aerobica. Tuttavia, la velocità dei processi anaerobici è molto più elevata e la massima potenza sviluppata dal solo meccanismo di scissione del fosfagene è circa tre volte più elevata della massima potenza sviluppabile ad opera delle reazioni ossidative.

Le sorgenti anaerobiche di energia possono essere individuate:

- 1) Nella scissione dei fosfati altamente energetici presenti nei muscoli (PC, ATP). La capacità delle riserve energetiche di questo tipo è stata valutata nell'uomo normale in circa 100 cal. Per kg di peso corporeo, mentre la massima potenza ammonta a circa 48 kcal/kg/h
- 2) Nel meccanismo della glicolisi anaerobica.

Secondo Margaria e coll. (1963) La produzione di 1 g di acido lattico corrisponde alla liberazione di 222 cal. Che possono essere utilizzate ai fini del lavoro.

La massima capacità potenziale del meccanismo della glicolisi anaerobica è nell'uomo adulto di circa 250 cal/kg di peso corporeo; mentre la massima potenza sviluppabile in base a tale meccanismo risulta essere di circa 25 kcal/kg/h.

Gli studi di Eriksson e Coll del 1973 insieme a quelli svolti da Fournier nel 1994 e da Gollnick nel 1973, indicano che l'attività della *fosfofruttochinasi* (PFK) – enzima rate – limiting- della glicolisi, risulta circa $\frac{1}{3}$ rispetto ai valori riscontrati nell'adulto, questo è valido

fino alla pubertà, dopodiché l'attività della PFK raggiunge livelli molto simili a quelli di un adulto.

L'attività dell'enzima *succinato-deidrogenasi* (SDH), presente nei mitocondri, risulta invece più elevata negli adolescenti che negli adulti. Per quanto riguarda invece la concentrazione dei *fosfati altamente energetici* (P) è stato rilevato nel muscolo vasto laterale dei ragazzi una più elevata concentrazione di *fosfocreatina* (PCr) rispetto agli adulti, mentre la concentrazione di *adenosin tri fosfato* (ATP) risulta non significativamente diversa.

Sappiamo inoltre che data la bassa attività di enzimi non glicolitici quali CK e AK fa sì che la capacità anaerobica dei giovani atleti sia inferiore rispetto gli atleti adulti (Jan et al. 2005).

Nei giovani infatti si ha un migliore adattamento all'esercizio aerobico in quanto la loro spesa energetica sembrerebbe essere sostenuta in percentuale maggiore dal metabolismo ossidativo rispetto gli adulti. L'attività glicolitica è infatti età dipendente, e la relativa proporzione di utilizzazione dei grassi in esercizi di resistenza appare più alta nei giovani (Boisseau et al. 2000).

In funzione dell'età e del sesso la massima frequenza respiratoria da sforzo può raggiungere valori di circa 60 atti al minuto nei ragazzi di 10 anni e diminuisce progressivamente con il trascorrere dell'età, e non si rilevano differenze significative tra i sessi

Altro parametro da tenere in considerazione quando si ha a che fare con giovani atleti è la massima ventilazione da sforzo assoluta che sappiamo aumentare in funzione dell'età. La riduzione della frequenza respiratoria massima da sforzo risulta quindi compensata dalla ventilazione totale che a sua volta dipende dall'aumento del volume toracico che si verifica nel corso dello sviluppo.

Nell'ambito degli esercizi aerobici, ragazzi di 11/13 anni allenati, sono caratterizzati da livelli di ventilazione e di frequenza respiratoria, a parità di carico lavorativo, significativamente inferiori rispetto ai soggetti non allenati.

Entrando nell'ambito della funzionalità cardiaca dei bambini e degli adolescenti, la procedura più idonea per valutarne i limiti consiste nella misura della gettata cardiaca sotto sforzo e possibilmente della misura della gettata cardiaca massima (Q_{max}). Altre misure meno attendibili sono state eseguite con metodi indiretti.

L'evoluzione, con l'età, della funzione cardiaca del ragazzo sedentario può essere trattata da uno studio svolto da Cunningham et al nel 1984, su 62 soggetti di età compresa tra gli 11 e i 15 anni. Da tale indagine si possono trarre le seguenti indicazioni:

- 1) La massima gettata cardiaca nel corso della crescita risulta correlata linearmente con il peso corporeo;
- 2) La frequenza cardiaca massima risulta, relativamente costante intorno ai 190-200 battiti per minuto, per cui la gettata pulsatoria massima è funzione lineare del peso corporeo;
- 3) La massima differenza artero-venosa tende leggermente ad aumentare con l'età per livellarsi all'età di 14 anni circa, intorno ai 15 ml O_2 per 100 ml di sangue.

Per quanto riguarda il giovane atleta allenato ad esercizi di resistenza, calcoli basati su misure di VO_{2max} e massima differenza artero-venosa in O_2 , porterebbero a concludere per un livello più elevato di Q_{max} per Kg rispetto ai sedentari. In soggetti di 7 ai 9 anni Turley e Wilmore (1997) hanno rilevato mediante misure di gettata cardiaca effettuate:

- 1) Un identico Q a parità di VO_2 nei 2 sessi;
- 2) Un livello lievemente ridotto di Q a parità di VO_2 nei bambini

rispetto agli adulti, compensato da una maggiore differenza artero-venosa in O_2 .

- 3) Un minore massimo livello assoluto di differenza artero-venosa in O_2 .

La pressione arteriosa nei bambini e negli adolescenti di ambo i sessi, è inferiore rispetto a quella dell'adulto. Anche in questi gruppi la risposta pressoria all'esercizio è simile a quella dell'adulto.

La risposta pressoria in funzione del tempo è progressiva ed i valori asintotici sono raggiunti con l'incremento del carico. I livelli di pressione diastolica sono invece sostanzialmente invariati rispetto a quelli di riposo.

MASSIMA POTENZA ANAEROBICA E MASSIMA CAPACITÀ LATTACIDA NEL CORSO DELL'ETÀ EVOLUTIVA

I valori di massima potenza registrati, evolvono in funzione dell'età, in relazione alla crescita ponderale delle masse muscolari e ad altre variabili funzionali, particolarmente a carico del muscolo.

MASSIMA POTENZA ISTANTANEA (PICCO DI POTENZA)

La massima potenza istantanea (w) rappresenta il picco di potenza meccanica che singoli muscoli o gruppi muscolari complessi possono sviluppare in maniera esplosiva. Questa è anche considerata un indicatore della massima velocità di idrolisi dell'ATP, sul presupposto che non venga utilizzata l'energia elastica precedentemente immagazzinata nel muscolo.

Il valore di “w” nei bambini, risulta significativamente minore di quello registrato negli adulti di ogni gruppo di età. Si possono ipotizzare vari fattori per spiegare questo dato sperimentale:

- 1) Differenze ultrastrutturali del muscolo dei bambini rispetto agli adulti;
- 2) Una differenza nell’angolo di pennazione delle fibre, a cui corrisponde una minore area della sezione trasversa del muscolo, con conseguente minore sviluppo di forza.

Questa ipotesi è sostenuta da Sergeant e Dolan (1986) ma sembra in contrasto con l’osservazione che l’aumento di lunghezza della fibra muscolare e del muscolo procedono parallelamente.

Un’ipertrofia selettiva, dopo la pubertà, delle fibre di tipo II, indotta dall’aumentata secrezione di testosterone;

- 1) Un ridotto controllo neuromotorio nel bambino, che impedisce la completa attivazione di tutte le unità motrici;
- 2) Minore concentrazione di ATP e PCr;
Una riduzione della massima velocità di idrolisi dell’ATP che risulterebbe identica nei bambini e negli adulti.

Secondo uno studio condotto da Gaul e Coll (1995) la potenza massima di un gruppo di 11 enni risulta pari al 33% degli adulti. In generale fino ai 14 anni, non sono evidenziabili differenze significative legate al sesso. Nella fase precoce dell’adolescenza, tra i 14 e i 16 anni, le eventuali differenze tra maschi e femmine possono essere attribuite al maggior aumento della massa muscolare dei primi.

LA MASSIMA POTENZA ANAEROBICA SVILUPPATA IN ESERCIZI SOVRAMASSIMALI PROTRATTI E LA MASSIMA CAPACITÀ LATTACIDA

La massima potenza anaerobica può essere valutata dal lavoro totale eseguito al cicloergometro durante un test sovra massimale del tipo “fuori tutto”. Gli adolescenti e gli adulti presentano generalmente valori di massima potenza aerobica superiori ai bambini in base alla maggiore massa muscolare dei primi.

Un esercizio sovra massimale protratto per 30 secondi dal punto di vista energetico, è sostenuto principalmente dall'energia fornita dalla glicolisi anaerobica. È noto che i bambini rispetto agli adulti, presentano anche ridotte massime capacità e potenza lattacide, il che è spiegabile solo con la ridotta attività della PFK (Erikson et al. 1973), ma anche con la minor concentrazione di glicogeno muscolare.

In bambini di età compresa tra gli 11 e i 13 anni, non praticanti attività fisica regolare, la concentrazione di glicogeno muscolare a riposo è infatti di circa $50 \text{ mmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ riducendosi dopo un esercizio massimale di circa il 40%. Negli adulti, il glicogeno muscolare può superare le $80 \text{ mmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$. L'associazione tra ridotta attività della PFK e minori riserve di glicogeno, può comportare una massima concentrazione di lattato nel sangue dei bambini, al termine di un esercizio ad esaurimento, significativamente inferiore a quella dell'adulto.

Mero (1988) ha associato la minor concentrazione di lattato nel sangue al termine di esercizi all-out in bambini di 12 anni, sia alla minor concentrazione serica di testosterone, che alla ridotta percentuale di fibre di tipo II. Un'altra possibile causa, può essere la diversa cinetica di eliminazione dell'acido lattico dal muscolo, nonché

modificazioni metaboliche connesse con il minor carico lavorativo medio, sostenibile dal sistema muscolare.

LA MASSIMA POTENZA AEROBICA

Numerose sono le misure di massima potenza aerobica nei bambini maschi dai 10 ai 13 anni.

È noto che il VO_{2max} è praticamente lo stesso fino a circa i 12 anni di età.

Dopo la pubertà, il VO_{2max} aumenta progressivamente con l'età per raggiungere i massimi valori a circa 16 anni nella femmina e a 18 anni nel maschio.

Gli studi effettuati dall'allenamento sulla massima potenza aerobica di bambini, non consentono tuttavia di giungere a conclusioni definitive, particolarmente per quanto riguarda i bambini in età prepuberale.

Alcuni studi su questa fascia di età, dimostrano aumenti significativi di VO_{2max} rispetto alla media dei soggetti di controllo, altri hanno rilevato aumenti modesti o addirittura nulli. Il problema metodologico che si pone soprattutto nei bambini più piccoli, è isolare l'effetto dell'allenamento da quelli concomitanti della crescita e della maturazione. Inoltre considerando che i bambini sono praticamente molto attivi, è praticamente impossibile identificare un bambino veramente sedentario, non è quindi da escludere che i programmi di allenamento applicati, siano, nella maggior parte dei casi, inadeguati a determinare un aumento significativo della massima potenza aerobica. Per quanto riguarda gli adolescenti, la massima potenza aerobica subisce un aumento per effetto dell'allenamento, ma i dati della letteratura appaiono discordi.

Mirwald et al, in uno studio longitudinale del 1981, di bambini e ragazzi, attivi ed inattivi, di età compresa tra i 7 e i 17 anni, hanno concluso che l'allenamento durante la preadolescenza non ha effetti significativi sulla massima potenza aerobica, mentre ha effetti positivi se praticato durante la pubertà.

LA SOGLIA ANAEROBICA

Nel bambino, il contributo della componente energetica anaerobica lattacida appare ridotto rispetto agli adulti, tale aspetto funzionale, unitamente ad una diversa risposta della frequenza cardiaca all'esercizio, determina un differente andamento della cosiddetta soglia anaerobica lattacida, rispetto a quella ventilatoria e circolatoria. Osservando un gruppi di bambini di 8-10 anni l'andamento della concentrazione di acido lattico e della frequenza cardiaca in funzione della velocità al nastro trasportatore, si evince che:

- 1) La soglia anaerobica lattacida è raggiunta a 8 km/h corrispondente al 75% del $\text{VO}_{2\text{max}}$;
- 2) Il flesso della HR in funzione della velocità si verifica a 12 km/h.

Concludendo quindi, la determinazione della soglia anaerobica dalla frequenza cardiaca, non può essere usata nei bambini.

LIMITI FISIologici ALL'ATTIVITÀ FISICA DEL BAMBINO

La capacità di sfruttare, da parte dei bambini, fonti anaerobiche lattacide è alquanto limitata.

Sul piano pratico, tuttavia, questa ridotta capacità non limita la capacità di fornire prestazioni fisiche di tipo misto, caratterizzate cioè dall'alternanza di esercizi aerobici con brevi scatti sovra massimali,

come richiesto da sport ad alternanza aerobica anaerobica come il calcio, il basket e per certi versi anche il volley.

Questo risulterebbe possibile in quanto secondo Hebestreit et al (1993) bambini in età dai 9 ai 12 anni presenterebbero al termine di un esercizio all-out, una capacità di recupero della massima potenza anaerobica più rapida degli adulti.

Considerando quanto detto fin ora, questo lavoro si è posto come obiettivi:

- a) Caratterizzare dal punto di vista cardio metabolico gli atleti in età evolutiva;
- b) Confrontare i giovani atleti d'élite e non élite al fine di avvalorare l'ipotesi che i parametri cardiaci e fisiologici dei giovani atleti non siano influenzati dall'intensità di allenamento e dallo sport praticato ma sono determinati da un normale sviluppo dell'individuo non sedentario;
- c) Creare un database di riferimento a livello regionale della quale tener conto per eventuali studi futuri.

MATERIALI E METODI

Soggetti

Hanno preso parte alla sperimentazione 68 soggetti (47 maschi e 21 femmine), le cui medie \pm deviazione standard (DS) di età, altezza, peso e BMI erano rispettivamente di: $16 \pm 0,8$ anni; $174 \pm 8,8$ cm; $63 \pm 10,2$ Kg; $21 \pm 2,4$.

Gli atleti sono stati suddivisi in due gruppi, il primo composto da 36 soggetti di 26 maschi e 10 femmine, in cui sono stati inseriti gli atleti d'élite, suddivisi a loro volta in 12 cestisti, 14 calciatori e 10 pallavoliste. Il secondo invece composto da atleti di non élite

includeva 32 soggetti di cui 21 maschi e 11 Femmine, suddivisi rispettivamente in 10 cestisti, 11 Calciatori e 11 pallavoliste.

I criteri tenuti in considerazione per l'inclusione nel gruppo degli atleti d'élite o non d'élite sono state la categoria nel quale disputa le gare la prima squadra della società di appartenenza.

Tutti i soggetti erano già stati sottoposti a visita di idoneità agonistica e nessuno soffriva di patologie di alcun tipo, inoltre nessuno degli appartenenti al campione era sotto terapia farmacologica e tutti hanno firmato il consenso informato per lo svolgimento dei test.

Protocollo

Il protocollo prevedeva l'esecuzione di due test da svolgere in giorni differenti.

Il primo ad essere eseguito è stato un test incrementale (CPX) da svolgere al treadmill che prevedeva: una misurazione basale ottenuta dopo 3 minuti di riposo, durante i quali il soggetto rimaneva seduto su una sedia, un warm-up ottenuto facendo correre il soggetto a bassa velocità (2 minuti a 6 km/h), una fase incrementale del test, con incrementi di 1Km/h ogni minuto fino ad esaurimento.

Successivamente, a distanza mediamente di un giorno, è stato svolto un test all-out (AOT) per la determinazione della componente anaerobica nei giovani atleti.

Il test prevedeva la misurazione a riposo per 3 minuti, 6 minuti di warm up suddivisi in 3 minuti ad una velocità di 6 km/h e 3 minuti ad una velocità pari al 60% della massima velocità raggiunta nel test incrementale, per poi arrivare gradualmente (60 s) ad una velocità del 5% superiore alla massima velocità raggiunta nel test incrementale, fino ad esaurimento. Tale protocollo è stato già applicato in passato

per studiare la capacità aerobica ed anaerobica in giovani calciatori (Angius et al 2012).

Tutti i test sono stati svolti presso il laboratori di fisiologia dello sport dell'Università degli studi di Cagliari, e il laboratorio di fisiologia degli sport dell'Università degli studi di Sassari, ad una temperatura e umidità medie relativamente di 24° e 50%.

Strumenti

Sono stati utilizzati per lo svolgimento dei test, un treadmill (Runner, Run 2011/TJ, Italia), un metabolimetro portatile (VO2000, Medgraphics, USA), una stazione ergometrica mod. Custo (Germany), un cronometro, ed uno sfigmomanometro.

Variabili raccolte

Per il test incrementale sono stati tenuti in considerazione tutti i parametri ventilatori e metabolici alla soglia anaerobica e al massimo dello sforzo, quali: consumo di ossigeno sia in valore assoluto, sia indicizzato per chilogrammo di peso corporeo, ($\text{VO}_{2\text{max}}/\text{kg}$, $\text{VO}_{2\text{max}}$, $\text{VO}_{2\text{at}}/\text{kg}$, $\text{VO}_{2\text{at}}$), produzione di anidride carbonica ($\text{VCO}_{2\text{at}}$, $\text{VCO}_{2\text{max}}$), ventilazione polmonare (VE_{at} , VE_{max}), frequenza cardiaca (HR_{at} , HR_{max}), eccesso di produzione di anidride carbonica ($\text{CO}_{2\text{exat}}$, $\text{CO}_{2\text{exmax}}$), polso d'ossigeno ($\text{O}_2\text{Pulse}_{\text{at}}$, $\text{O}_2\text{Pulse}_{\text{max}}$) che altro non è che il volume di O_2 assimilato durante il periodo di un battito cardiaco, e dipende dal volume di O_2 estratto dai tessuti periferici, velocità alla soglia anaerobica e al massimo dello sforzo (S_{at} , S_{max}).

Per quanto riguarda il test all-out sono stati presi in considerazione gli stessi parametri ma esclusivamente a riposo e al picco dello sforzo, sono in aggiunta stati considerati anche la velocità e il tempo totale di durata del test all-out (S_{max} , AOT).

Analisi Statistica

Tutti i valori raccolti sono stati analizzati come media \pm deviazione standard per ad entrambe gruppi.

È stato poi applicato un t-test per dati non appaiati per comparare i due gruppi e verificare la significatività statistica, che è stata fissata per un valore di $p < 0,05$.

RISULTATI

L'analisi statistica dei parametri presi in considerazione al test incrementale ha evidenziato una differenza statisticamente significativa solo nella velocità raggiunta al massimo dello sforzo.

Per quanto riguarda invece il test all-out tale differenza è stata riscontrata sia nella velocità massima che nel tempo di all-out.

I valori medi \pm deviazione standard delle variabili misurate sono riportati nelle tabelle 1 e 2.

DISCUSSIONE

Dall'analisi della scarsa letteratura presente sull'argomento, sappiamo che il VO_{2max} aumenta progressivamente fino a raggiungere il massimo valore all'età di 16/17 anni sia nei maschi che nelle femmine, e tende successivamente a diminuire con l'aumentare dell'età. Oltre il 50° anno, il decremento appare essere sensibilmente più marcato. Nelle femmine, a partire dal 10° anno di età, il VO_{2max} è inferiore a quello dei maschi in gran parte per effetto della minor

massa corporea. Anche il $\text{VO}_{2\text{max}}$ indicizzato per kg di peso corporeo, appare nelle femmine pressoché identico a quello dei maschi soltanto fino all'età di 10 anni; il massimo è raggiunto all'età di 12 anni, mentre nei maschi il massimo è raggiunto all'età di 16 anni. Dopo il 10° anno di età i valori di $\text{VO}_{2\text{max}}$ indicizzato per kg di peso corporeo sono costantemente superiori nei maschi rispetto alle femmine di circa il 15-20%. Tale differenza tra i due sessi tende tuttavia ad annullarsi quando il $\text{VO}_{2\text{max}}$ sia indicizzato per kg di peso corporeo “magro”, ciò sta ad indicare che la minor potenza aerobica della femmina non è soltanto dovuta alla minor massa corporea, ma anche al maggior contenuto percentuale di grasso corporeo (Cerretelli et al. 1968).

Dolben et al. 1956 trovarono che la differenza in massimo consumo di ossigeno per 1kg di peso corporeo, che risulta essere di circa il 15% in favore dei maschi, si riduce al 3-4% allorché il $\text{VO}_{2\text{max}}$ sia espresso per 1kg di peso corporeo. La residua differenza del 3-4% tra maschi e femmine può essere spiegata con una diversa concentrazione emoglobinica del sangue, che nella femmina è del 5-10% inferiore a quella del maschio. La massima ventilazione da sforzo risulterebbe al contrario sostanzialmente la stessa nei due sessi quando sia espressa per 1 kg di peso corporeo e non costituisce comunque il fattore limitante la massima potenza aerobica. Lo stesso si può osservare per la massima gettata cardiaca.

In uno studio longitudinale Wirth et al. (1978) presero in considerazione 41 giovani di età compresa tra gli 8 e i 18 anni divisi in 3 gruppi, prepuberali, puberali e postpuberali, i quali vennero sottoposti a due test, uno sub-massimale e uno massimale, ottenendo dei valori di massimo consumo di ossigeno che oscillavano tra 44,0 e 47,2 $\text{ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$. I dati ottenuti dal nostro studio, che si è posto come obiettivo quello di verificare che i parametri fisiologici di un individuo

in età evolutiva non siano influenzati dalle ore e dal tipo di attività fisica svolta, risultano in linea con quelli presenti in letteratura, Dai risultati dei nostri test e dall'analisi statistica applicata, si è potuto osservare che la differenza nel consumo di ossigeno sia indicizzato per kg di peso corporeo, sia in valore assoluto, non ha riportato una differenza statisticamente significativa né alla soglia anaerobica né al massimo dello sforzo.

La stessa cosa si è osservata nella produzione di anidride carbonica, nella ventilazione, nella frequenza cardiaca, nell'eccesso di produzione di anidride carbonica e nel polso d'ossigeno.

Tale differenza si è potuta invece osservare nella velocità massima raggiunta e nel tempo di durata dell'all-out.

Infatti il gruppo di giovani d'élite ha raggiunto velocità più elevate rispetto ai non élite, a parità di consumo d'ossigeno.

Il calcolo del costo energetico al picco dello sforzo mediante la formula:

$$CE = ((VO_{2max}/kg - VO_{2rest}/kg) \cdot 5 \cdot (60/velocità)) / 1000$$

Ha evidenziato che questa significatività è dovuta verosimilmente al fatto che gli atleti d'élite a parità di consumo d'ossigeno, hanno un minor dispendio energetico e di conseguenza un rendimento maggiore, che li porta ad avere una migliore economia del gesto tecnico che in questo caso si traduce in una velocità maggiore.

Per quanto riguarda invece la durata dell'all-out abbiamo riscontrato un tempo maggiore nel gruppo di non élite rispetto agli élite, questo può essere spiegato sia con la minore velocità raggiunta che quindi permette una durata maggiore, sia col fatto che tale gruppo di atleti potrebbe non aver affrontato il test incrementale al massimo delle loro possibilità. C'è da sottolineare infatti che oltre ai parametri soggettivi

misurabili, la differenza tra un gruppo e l'altro, la fanno anche alcuni parametri soggettivi, quali ad esempio quelli psicologici, per cui degli atleti abituati a sopportare determinate regole sia comportamentali che lavorative affrontano tali test e tali situazioni in modo più serio e professionale.

Alla luce di quanto osservato possiamo quindi affermare che il numero di ore settimanali di allenamento, e lo sport praticato per soggetti in età evolutiva, non influiscono in modo significativo sullo sviluppo delle caratteristiche fisiologiche, la differenza quindi tra gli atleti d'élite e non la fanno le capacità tecniche dell'atleta.

Per confermare questa affermazione sarebbe utile in futuro per strutturare ulteriormente questo lavoro, svolgere ulteriori test a carattere tecnico e gesto specifico, che permetta a parità di carico di verificare le differenze qualitative tra gli atleti.

TABELLE E GRAFICI

	Élite (Media±DS)	Non Élite (Media±DS)
VO_{2at} (ml/Kg/min⁻¹)	42,7±6,2	43,6±13,8
VO_{2max} (ml/Kg/min⁻¹)	47,4±7,7	47,7±12,3
VO_{2at} (ml/min⁻¹)	2599,9±566,6	2268,3±864,1
VO_{2max} (ml/min⁻¹)	2992,6±666,6	2712,2±900,6
VCO_{2at} (ml/min⁻¹)	2744,1±672,3	2298,9±1070,2
VCO_{2max} (ml/min⁻¹)	3415,8±807,9	3389,3±1072,3
VE_{at} (L/min⁻¹)	78,1±19,3	77,3±28,9
VE_{max} (L/min⁻¹)	104,6±23,5	95,6±29,1
HR_{at} (bpm)	180±9,1	182±13,5
HR_{max} (bpm)	191±8,2	189±10,3
CO_{2exat} (ml/min⁻¹)	519,9±238,3	702,3±505,8
CO_{2exmax} (ml/min⁻¹)	875,2±344,7	740,5±534,6
O₂pulse_{at} (ml/min/bpm)	14,4±3,0	14,6±4,7
O₂pulse_{max} (ml/min/bpm)	15,3±3,3	15,7±4,6
S_{max} (Km/h)	15,1±1,8	13,5±2,3
Sat (km/h)	12,6±1,9	12,1±2,4

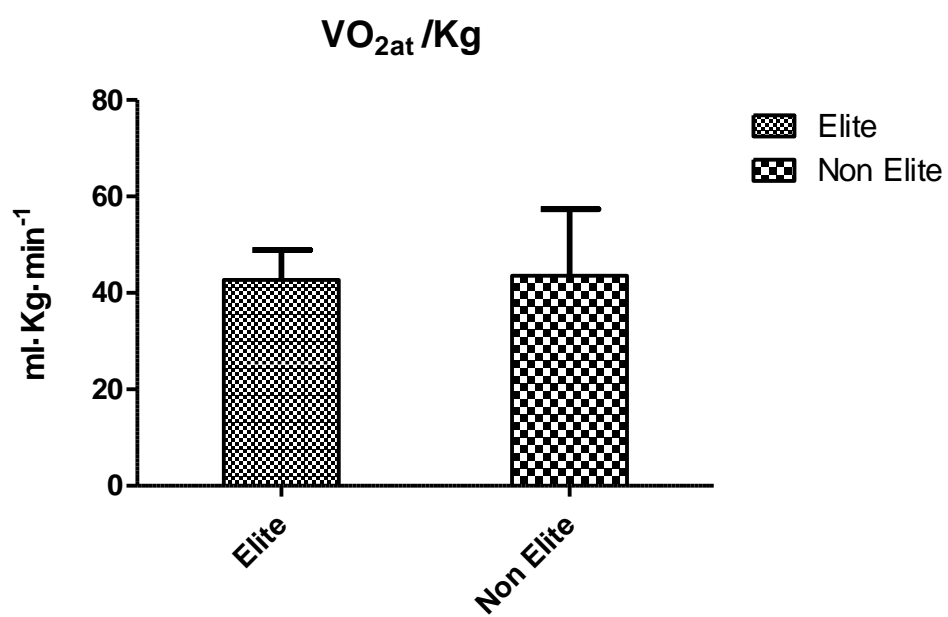
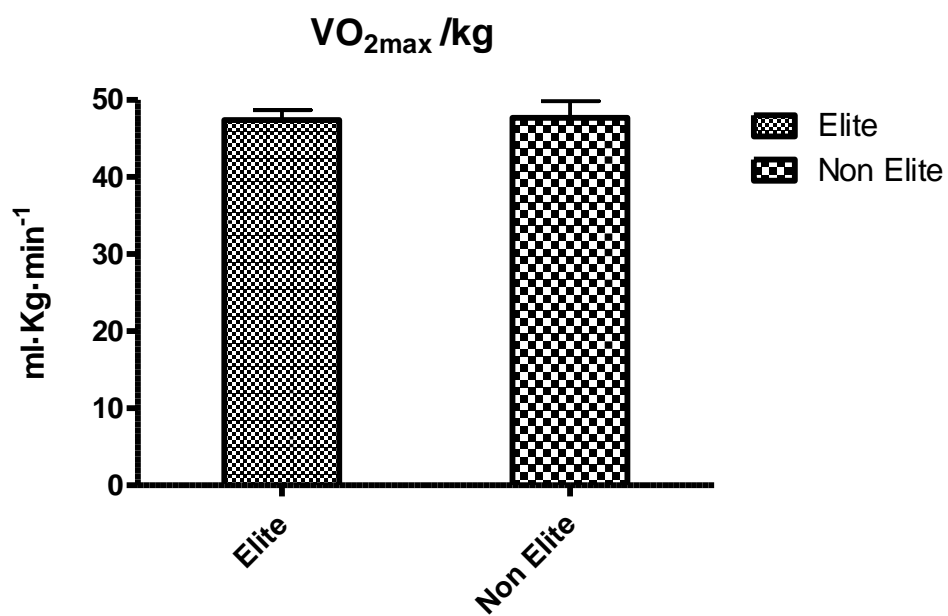
Tabella 1(incrementali élite + non élite)

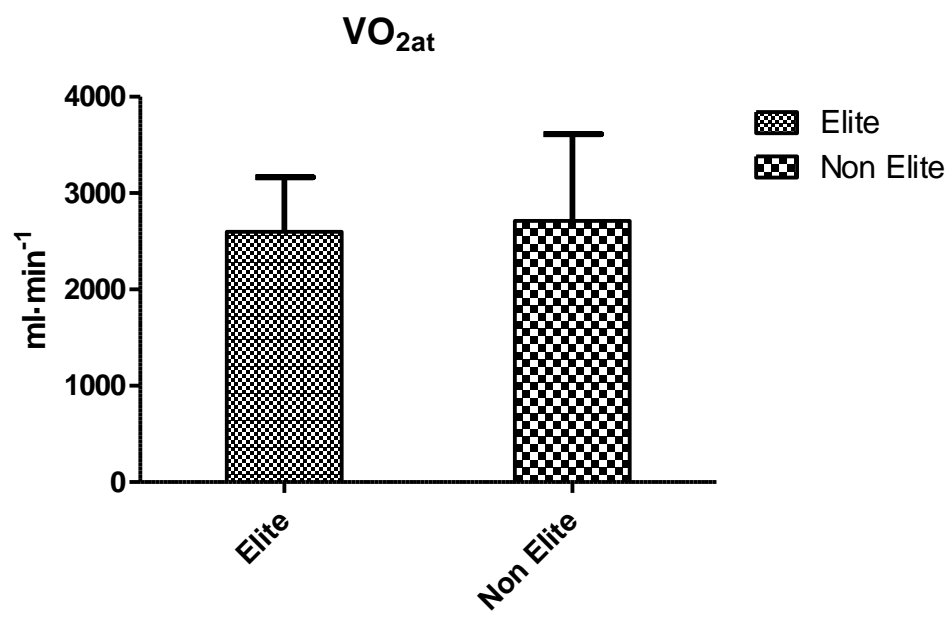
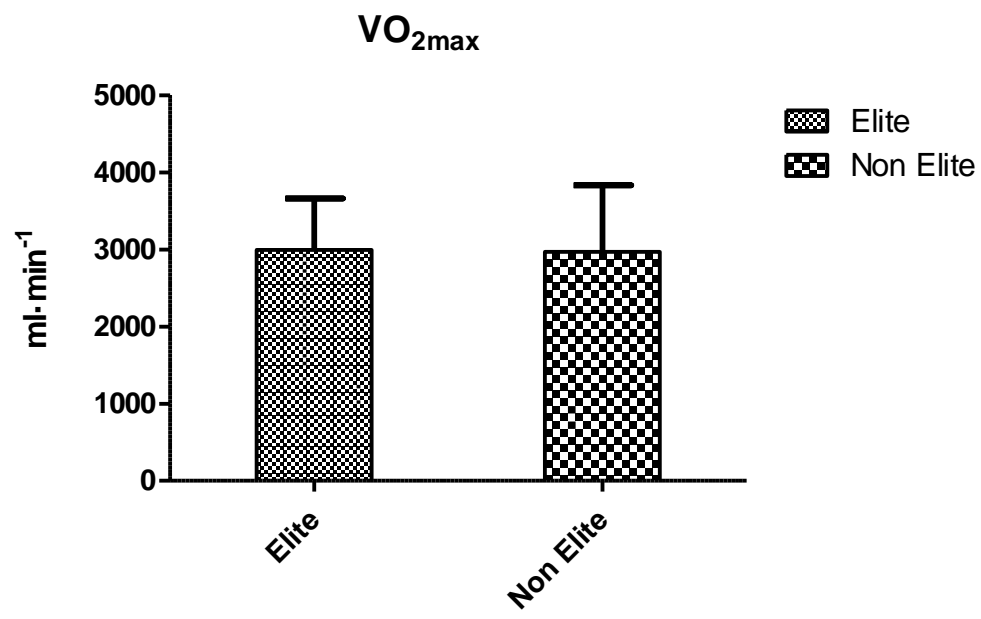
	Élite (Media±DS)	Non Élite (Media±DS)
VO_{2max} (ml/Kg/min⁻¹)	49,1±8,3	45,8±13,0
VO_{2max} (ml/min⁻¹)	3132,4±664,0	2870,0±980,6
VCO_{2max} (ml/min⁻¹)	3625,5±837,8	3344,3±1333,1
VE_{max} (L/min⁻¹)	105,5±26,0	93,9±33,5
HR_{max} (bpm)	189,4±8,0	187,1±12,7
CO_{2exmax} (ml/min⁻¹)	1113,5±557,0	904,8±581,7
O₂pulse_{max} (ml/min/bpm)	16,7±3,9	15,5±5,7
S_{max} (km/h)	16,2±2,1	14,1±2,5
AOT (s)	124,4±44,4	216,2±146,9

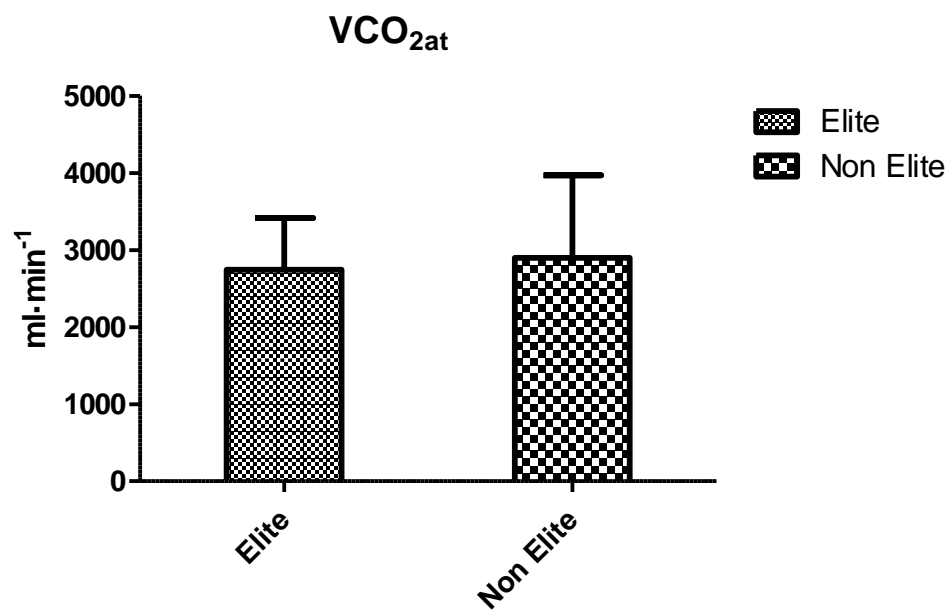
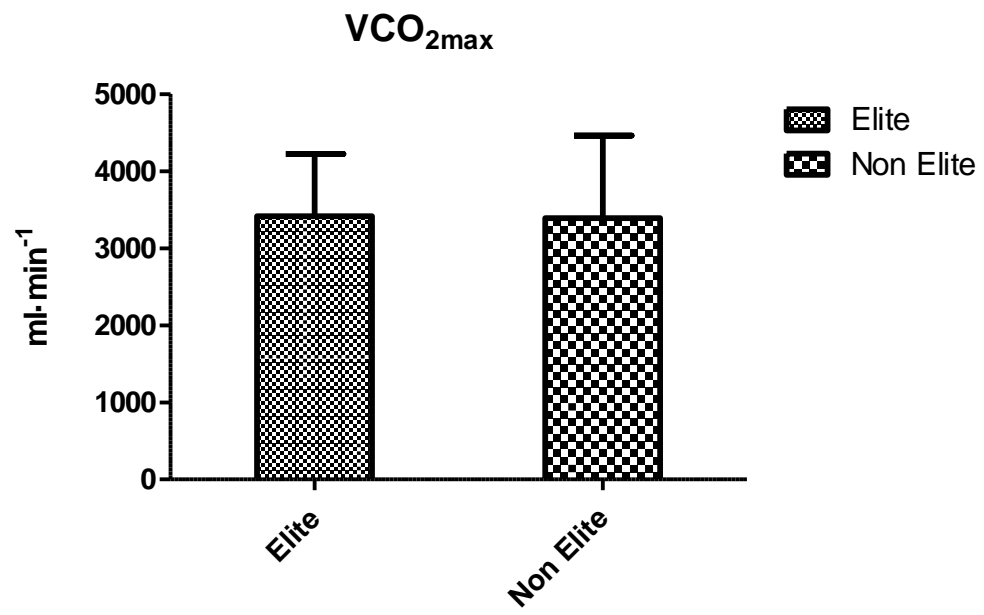
Tabella 2 (all-out élite + non élite)

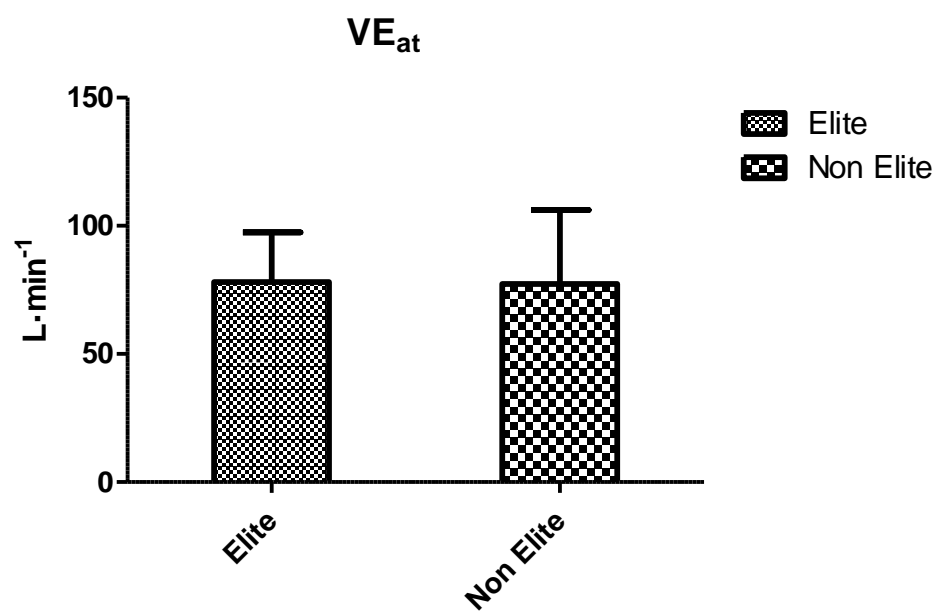
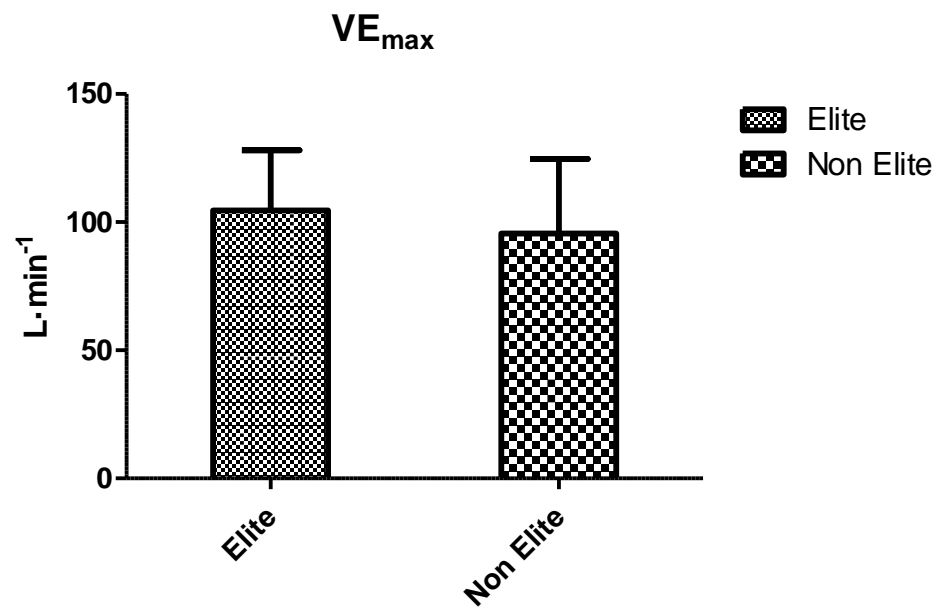
Grafici

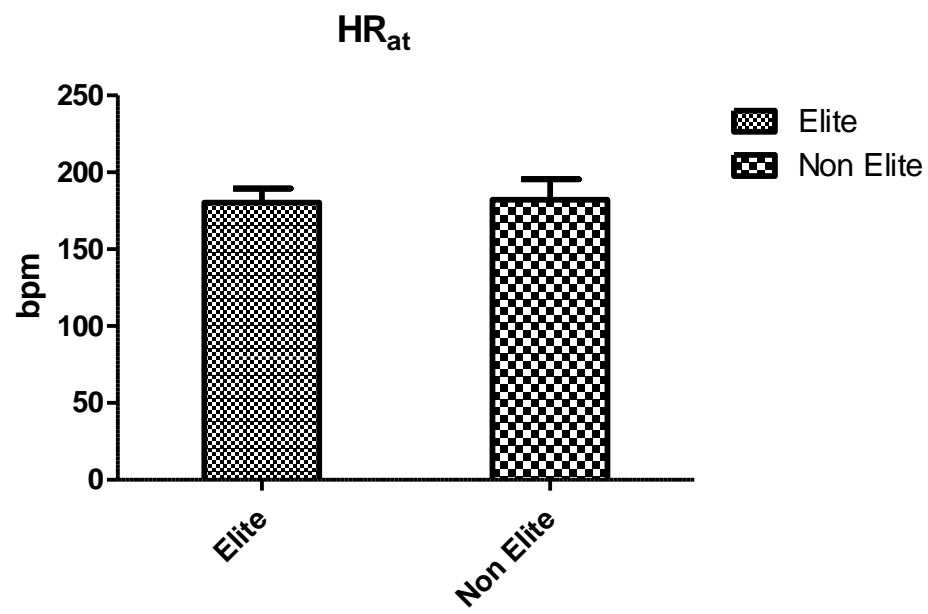
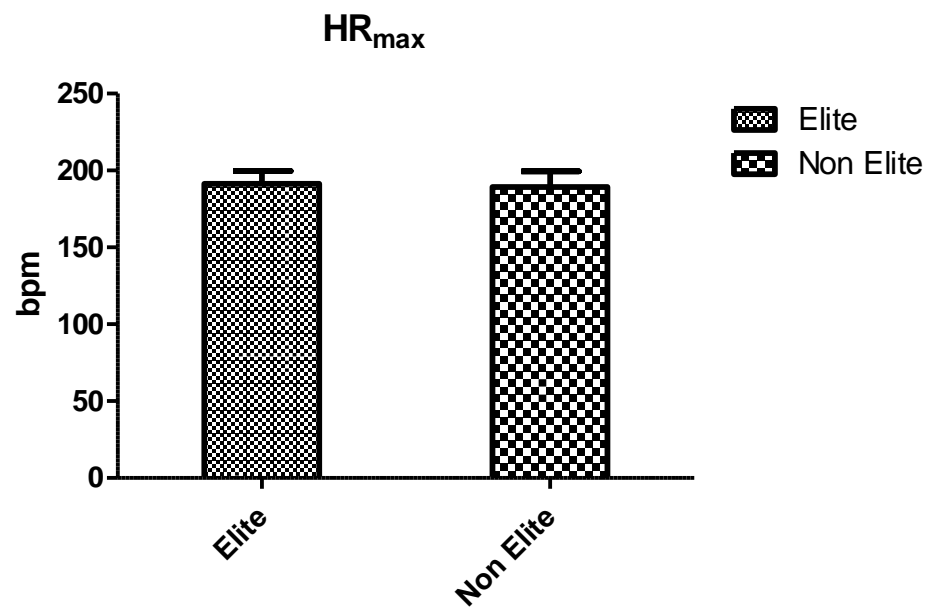
Valori ottenuti al test incrementale

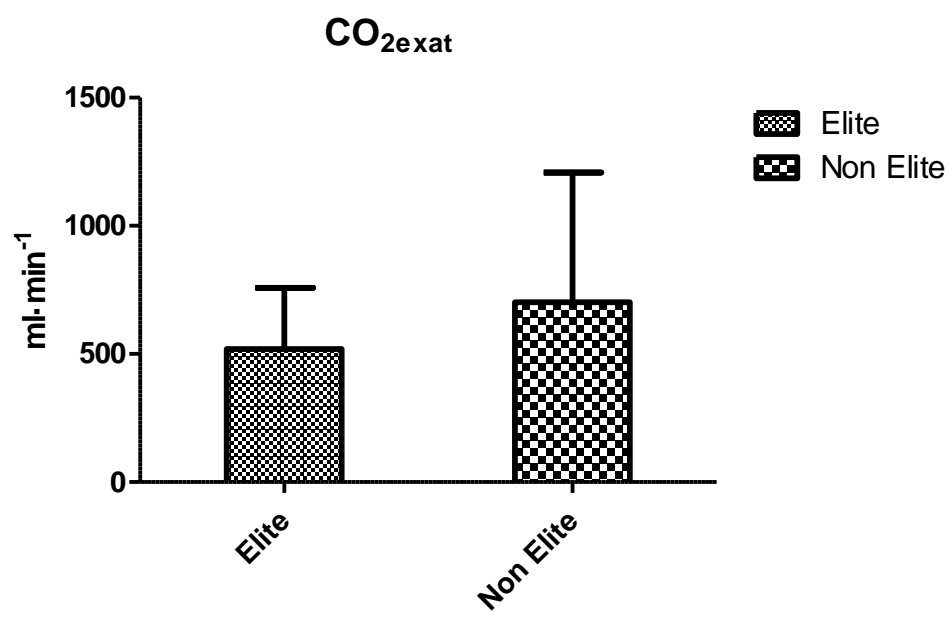
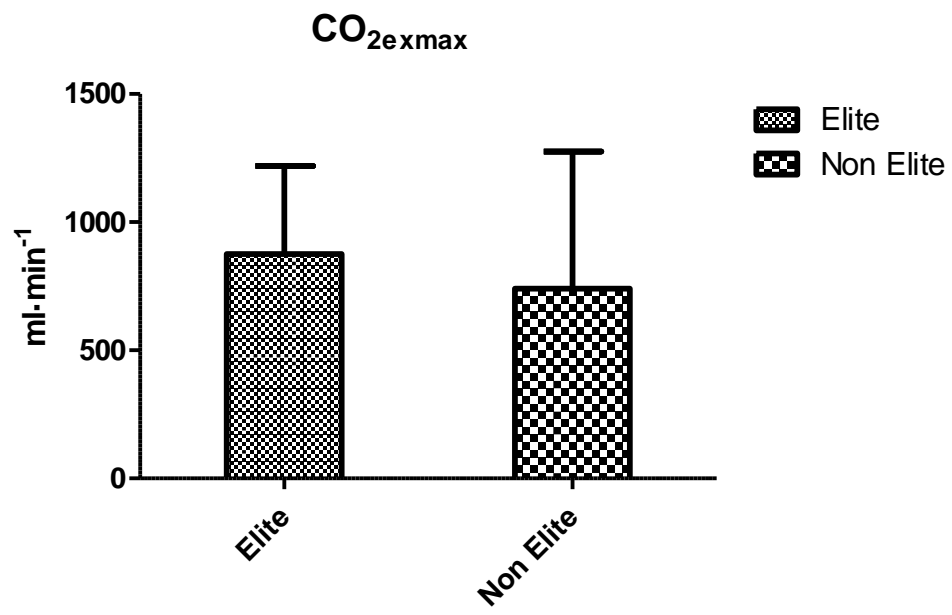


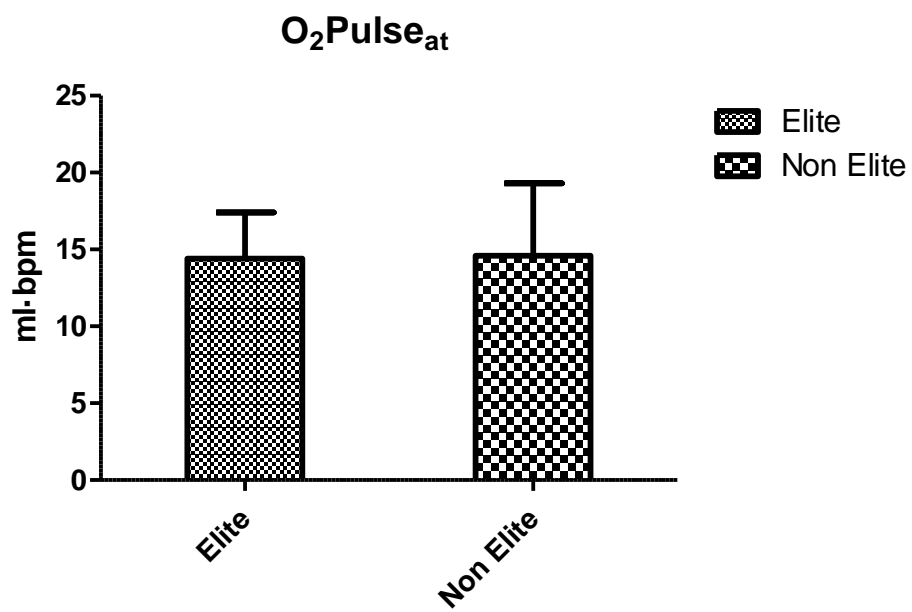
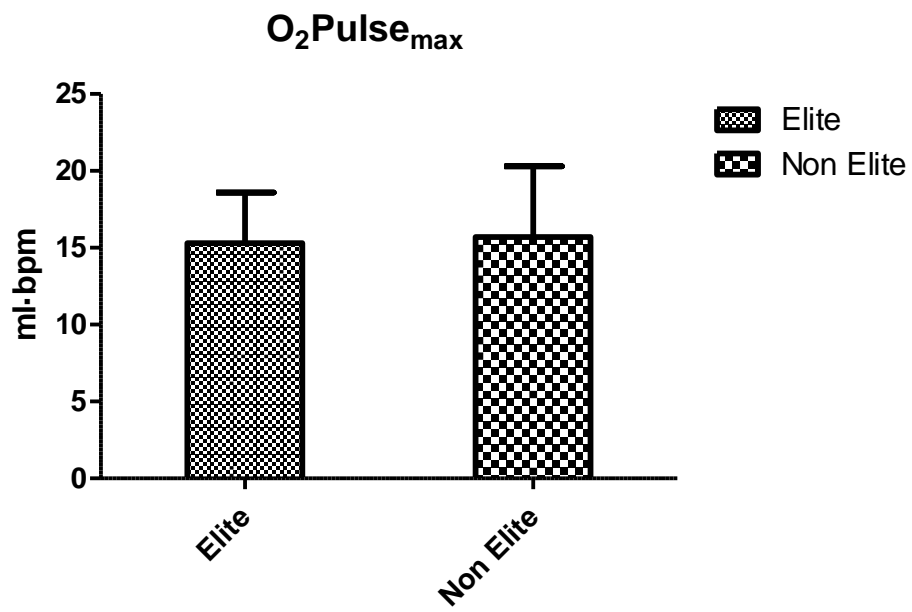


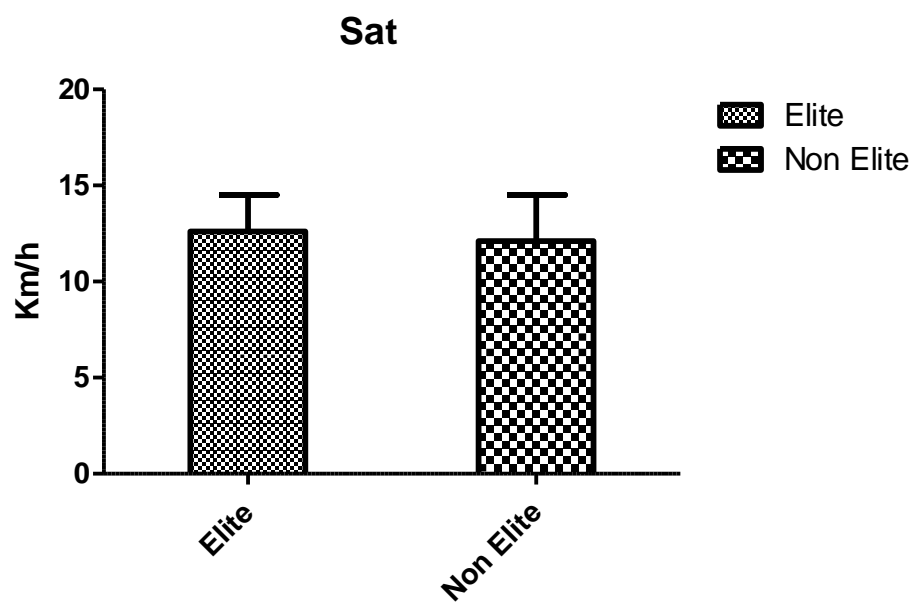
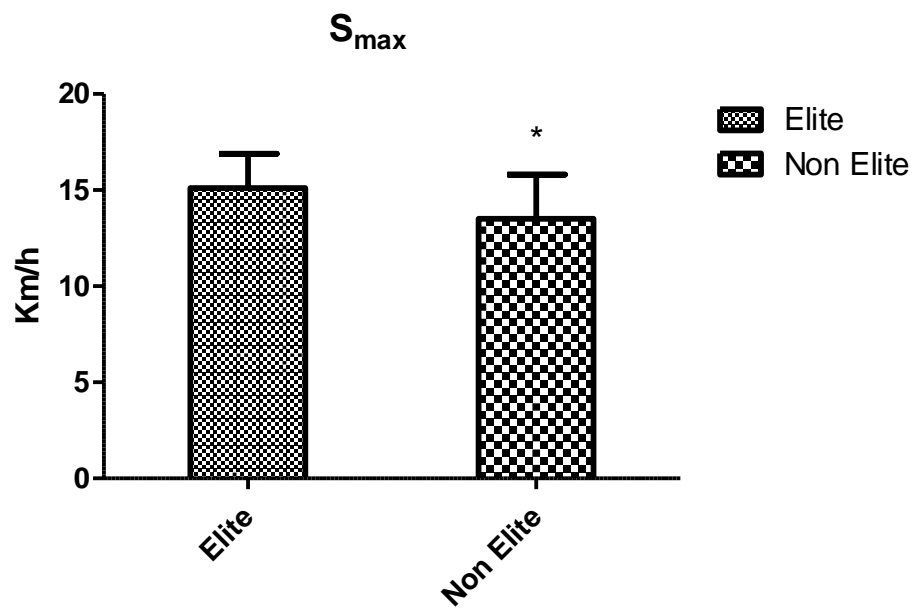




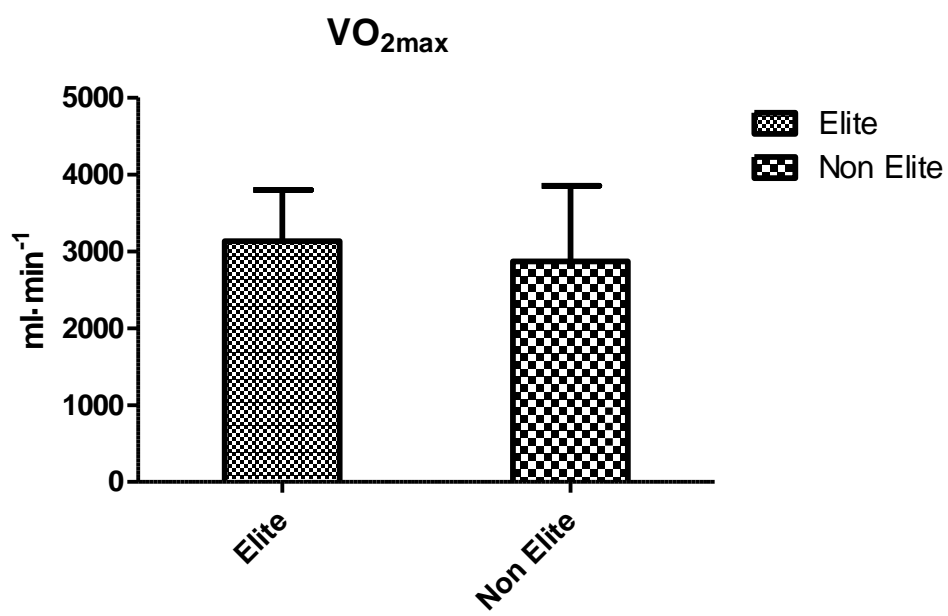
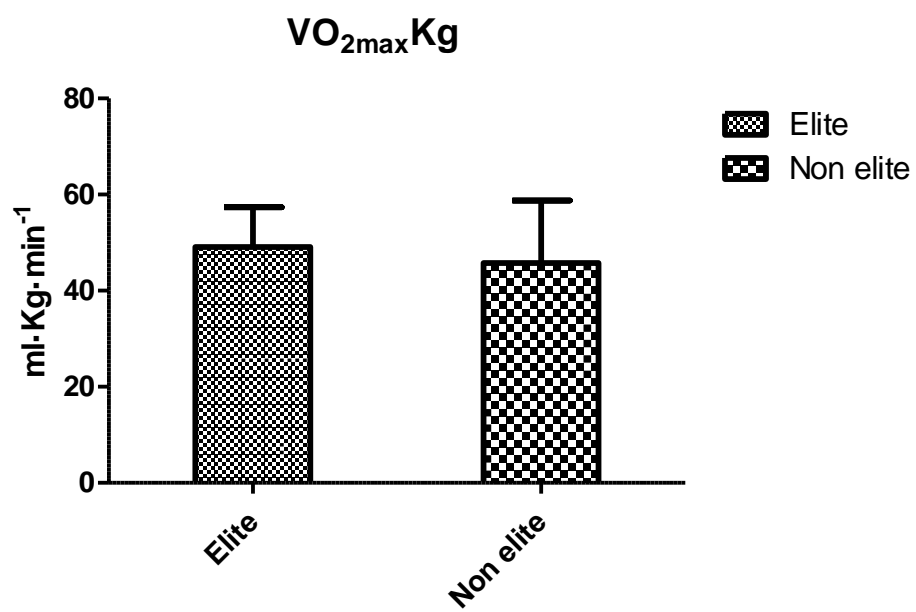


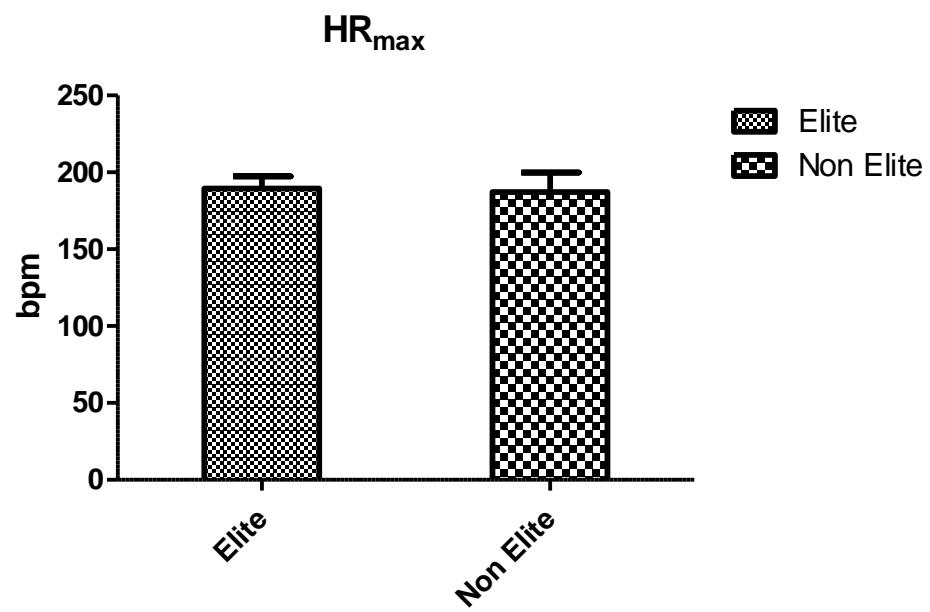
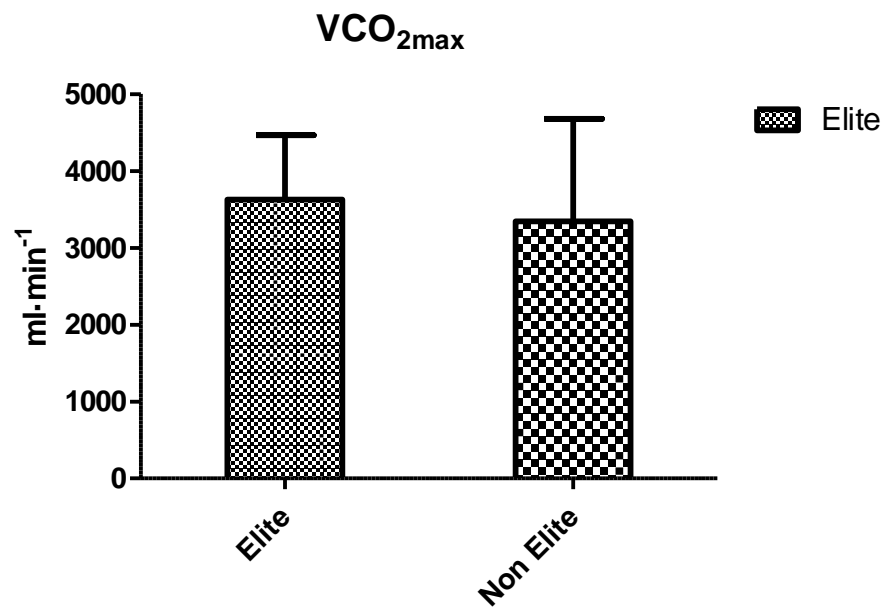


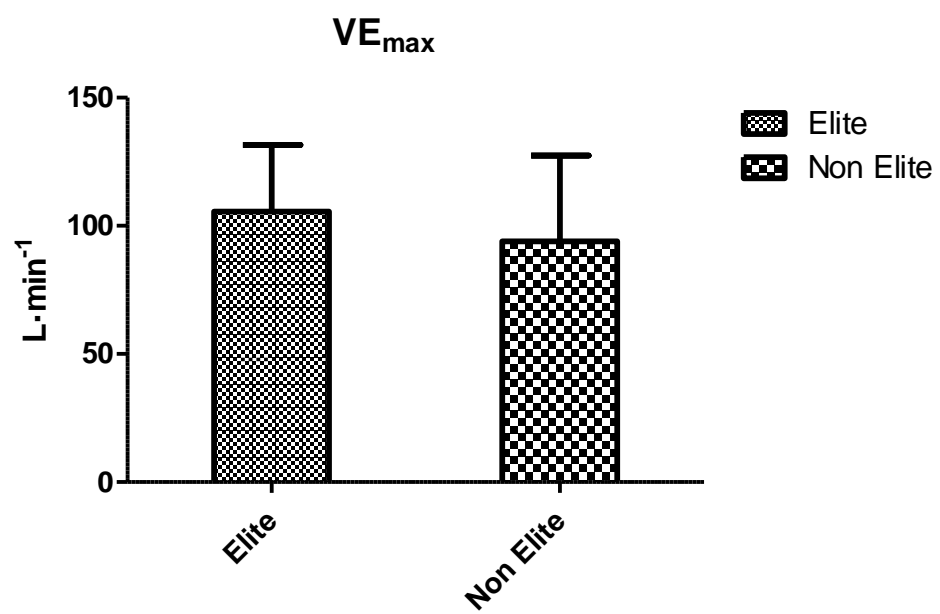
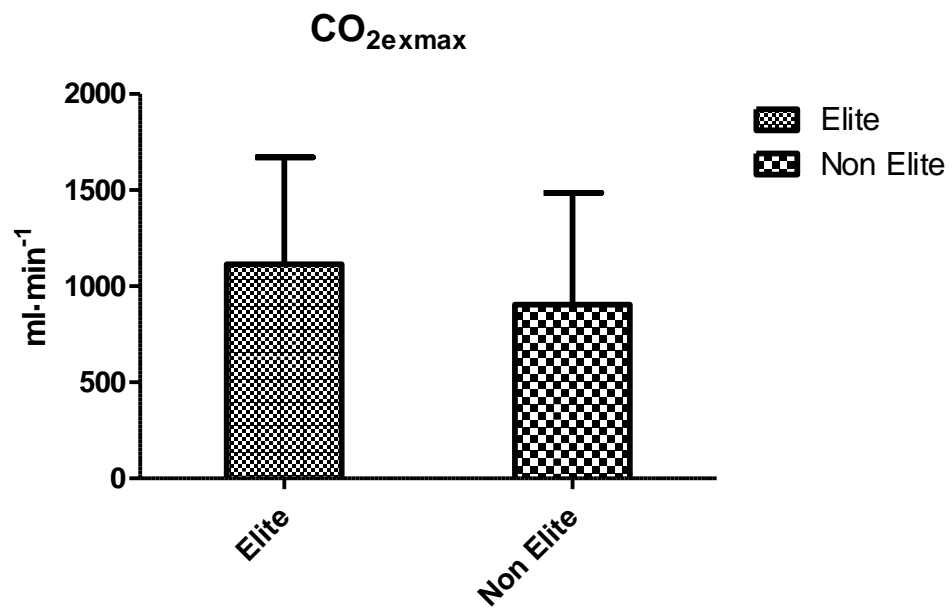


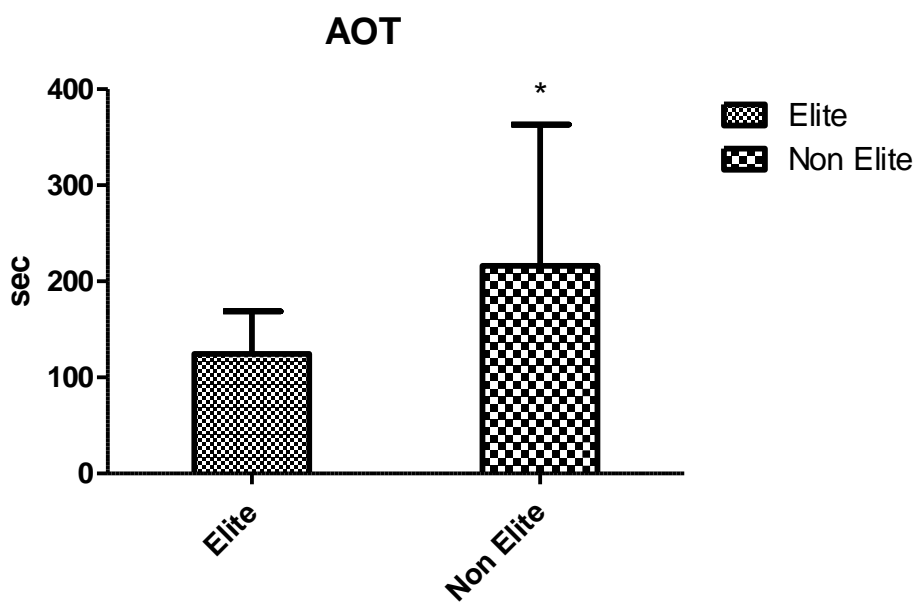
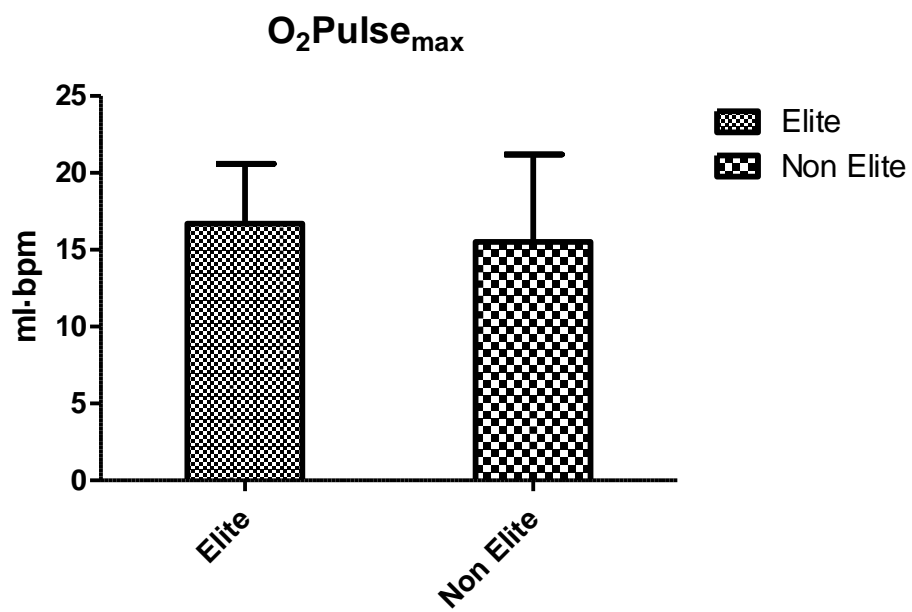


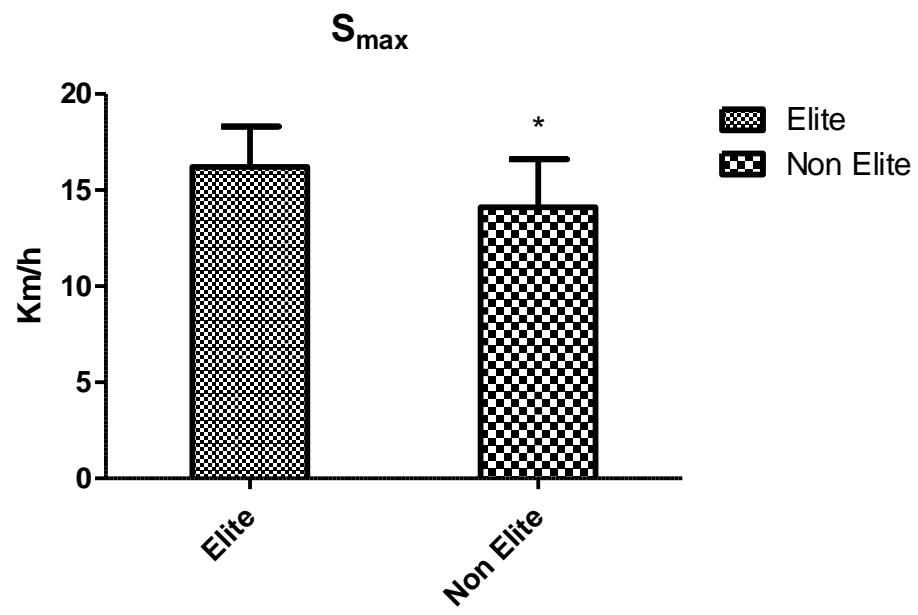
Valori ottenuti al test All-Out



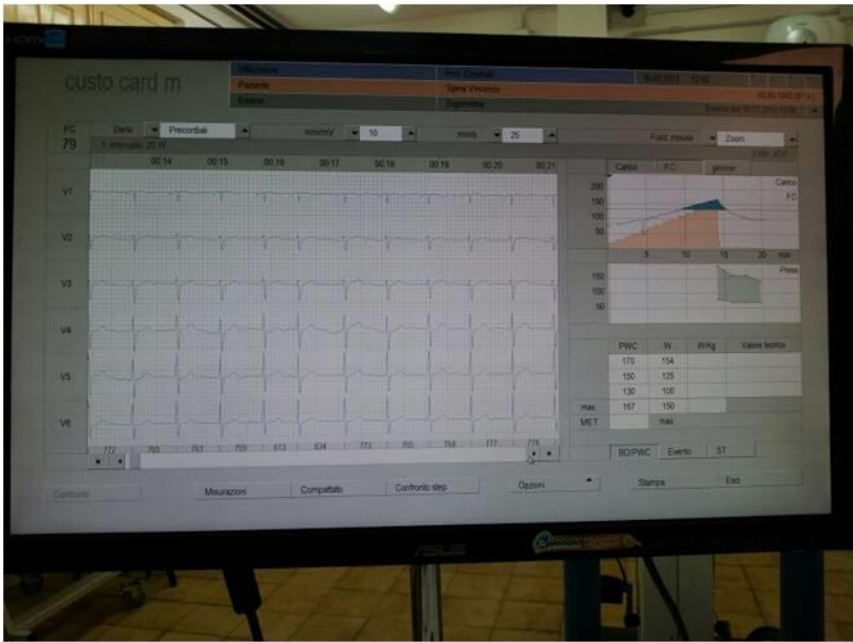








Figure







BIBLIOGRAFIA

Angius L, Olla S, Pinna M, Mura R, Marongiu E, Roberto S, Piras F, Corona F, Milia R, Tocco F, Concu A, Crisafulli A. *Aerobic and anaerobic capacity of adult and young professional soccer players*. Sport Sci Health 2012, 8:95-100.

Angius L, Olla S, Pinna M, Mura R, Piras F, Ibba G, Todde F, Cominu M, Tocco F, Concu A, Crisafulli A. *Index of physical capacity and repeated sprint ability of young soccer players*. Sport Sci Health. 2013, 9:1-6.

Backman E, Henriksson K.G. *Skeletal muscle characteristics in children 9-15 years old: force, relaxation rate and contraction time*. Clinical Physiology. 1988, 8: 521-527.

Cerretelli P, Aghemo P, Rovelli E. *Aspetti fisiologici dell'adolescente in relazione alla pratica dell'esercizio fisico* Medicina dello sport. 1968, 21:400-406.

Berg A, Kim S.S, Keul J. *Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subject*. Int.J. Sports Med. 1986, 236-239.

Wirth A, Trager E, Scheele K, Mayer D, Diehm K, Reischle K, Weicker H. *Cardiopulmonary adjustment and metabolic response to maximal and submaximal physical exercise of boys and girls at different stages of maturity*. Eur. J. Appl. Physiol. 1978, 39:229-240.

Bossieau N, Delamarche P. *Metabolic and hormonal response to exercise in children and adolescents*. Sport Med. 2000, 30:405-422.

Eriksson B. O, Gollinick P. D, Saltin B. ***Muscle metabolism and enzyme activities afther training in boys 11-13 years old.*** Acta Physiol Scand. 1973, 87:485-497.

Kaczor J. J, Ziolkowski W, Popinigis J, Tarnopolsky M. A. ***Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults.*** Pediatric Research. 2005, 3:331-335.

Backman E, Heriksson K. G. ***Skeletal muscle characteristics in children 9-15 years old: force, relaxation rate and contraction time.*** Clinical Physiology. 1988, 8:521-527.

Wasserman K, Hansen J.E, Sue D. Y, Stringer W.W, Whipp B. J. ***Principles of exercise testing and interpretation.*** Lippincott Williams & Wilkins. Fifth edition 2012.

Cerretelli P. ***Fisiologia dell'esercizio – sport, ambiente, età, sesso.*** Seu società editrice 2001.